

Abstract

MONOLITHIC ELECTROLUMINESCENCE DEVICE AND METHOD FOR  
PRODUCING THE SAME

The invention refers to a monolithic electroluminescent device, in particular a LED chip. According to the invention an active layer sequence (2) is arranged on a substrate (1). The active layer sequence is able to emit electromagnetic radiation (3) in case an electrical current is applied to the device. The active layer sequence (2) shows a plurality of adjoined emission centers (4). Each of these emission centers (4) is related to a radiation extraction element (5) through which the electromagnetic radiation (3) of the related emission center is extracted out of the device.

Reference Symbols:

- 1 substrate
- 2 active layer sequence
- 3 electromagnetic radiation
- 4 emission center
- 5 radiation extraction element
- 6 cylinder
- 7 hemisphere
- 9 direction of radiation
- 10 top surface
- 11 metallization
- 13 radiation extraction layer
- 14 current aperture layer
- 15 current pass layer
- 16 break reflection layer
- 17 contact layer
- 21 pn-junction
- 22 reflecting layer
- 23 ohmic contact



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Offenlegungsschrift DE 199 11 717 A 1

⑥ Int. Cl. 7:  
H 01 L 33/00  
H 01 L 27/15

⑰ Aktenzeichen: 199 11 717.9  
⑱ Anmeldetag: 16. 3. 1999  
⑲ Offenlegungstag: 28. 9. 2000

DE 199 11 717 A 1

⑰ Anmelder:

OSRAM Opto Semiconductors GmbH & Co. oHG,  
93049 Regensburg, DE

⑱ Vertreter:

Epping, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 80339  
München

⑲ Erfinder:

Späth, Werner, Dr., 83607 Holzkirchen, DE; Stath,  
Norbert, Dr., 93049 Regensburg, DE

⑥ Entgegenhaltungen:

DE 25 36 704 A1  
DE 24 21 590 A1  
US 58 64 171 A  
US 55 83 351 A  
US 50 87 949 A  
EP 06 35 893 A1  
EP 05 25 779 A2  
WO 96 37 000 A1

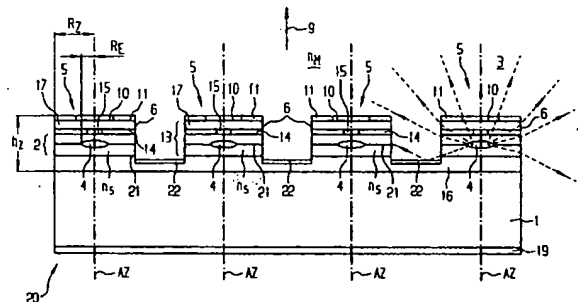
US-Z.: G. Giaretta et al., "A Novel 4x8 Single-  
Mode Independently Addressable Oxide-Isolated  
VCSEL Array", IEEE Photonics Technology Letters,  
Vol. 9, No. 9, 1997, S. 1196-1198;  
Patents Abstracts of Japan, JP 56-1583 A, E-51,  
1981, Vol. 5/No. 51;  
NL-Z.: J.P. Donnelly: "The electrical characte-  
ristics of ion implanted compound  
semiconductors",  
Nuclear Instruments and Methods 182/183 (1981)  
S. 553-571;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑥ Monolithisches elektrolumineszierendes Bauelement und Verfahren zu dessen Herstellung

⑦ Monolithisches elektrolumineszierendes Bauelement, insbesondere LED-Chip, bei dem auf einem Substrat (1) eine aktive Schichtenfolge (2) angeordnet ist, die geeignet ist, bei Stromfluß durch das Bauelement elektromagnetische Strahlung (3) auszusenden. Die aktive Schichtenfolge (2) weist eine Mehrzahl von nebeneinander angeordneten Emissionszonen (4) auf. Jeder dieser Emissionszonen (4) ist ein Strahlungsauskoppelelement (5) zugeordnet, durch das eine in der zugehörigen Emissionszone (4) erzeugte elektromagnetische Strahlung aus dem Bauelement ausgekoppelt wird.



Die Erfindung bezieht sich auf ein monolithisches elektrolumineszierendes Bauelement, insbesondere LED-Chip, bei dem auf einem Substrat eine aktive Schichtenfolge angeordnet ist, die geeignet ist, bei Stromfluß durch das Bauelement elektromagnetische Strahlung auszusenden, der aktiven Schichtenfolge in einer Abstrahlrichtung des Bauelements eine Strahlungsauskopplerschicht nachgeordnet ist, durch die zumindest ein Teil der elektromagnetischen Strahlung aus dem Bauelement ausgekoppelt ist, und bei dem an die Strahlungsauskopplerschicht ein Medium angrenzt, dessen Brechungsindex kleiner ist als der Brechungsindex des Materials der Strahlungsauskopplerschicht.

Sie bezieht sich weiterhin auf ein Verfahren zur Herstellung des Bauelements.

Bei herkömmlichen derartigen LED-Chips erstreckt sich die aktive Schicht in der Regel über die gesamte Aufwachsfläche des Substrats, sind üblicherweise an der Vorderseite des Chips ein Bondpad und an der Rückseite des Substrats eine ganzflächige Kontaktmetallisierung aufgebracht und wird angestrebt, daß sich der Stromfluß durch den Chip möglichst auf die gesamte aktive Schicht aufweitet. Bekannt ist hierzu beispielsweise ein LED-Halbleiterchip, bei dem über der elektrolumineszierenden aktiven Schicht eine dicke Auskopplerschicht, eine sogenannte Fensterschicht, angeordnet ist, die die Stromaufweitung und die Lichtauskopplung aus dem Chip verbessern soll.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Bauelement der eingangs genannten Art und ein Verfahren zu dessen Herstellung zu entwickeln, bei dem die Strahlungsauskopplung verbessert ist.

Diese Aufgabe wird durch ein monolithisches elektrolumineszierendes Bauelement mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch Verfahren mit den Merkmalen der Ansprüche 19, 20, 23, 24 oder 25 gelöst.

Unter Hauptabstrahlrichtung des Bauelements ist hierbei diejenige Richtung zu verstehen, in der ein Großteil der in dem Bauelement erzeugten elektromagnetischen Strahlung aus diesem austritt.

Vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Bauelements und der Verfahren sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 18 und 21 und 22.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, daß die auf dem Substrat aufgewachsene aktive Schicht eine Mehrzahl von in Bezug auf die Abstrahlrichtung nebeneinander angeordneten Emissionszonen mit jeweils mindestens einem elektrolumineszierenden pn-Übergang aufweist und daß den Emissionszonen jeweils ein separates optisches Strahlungsauskoppelement zugeordnet ist, durch das eine in der zugehörigen Emissionszone erzeugte elektromagnetische Strahlung aus dem Bauelement ausgekoppelt wird. Die Emissionszonen liegen bevorzugt in einer Aufwachsebene des Substrats. Die Strahlungsauskoppelemente bestehen vorzugsweise aus Halbleitermaterial, das für die im Bauelement erzeugte Strahlung durchlässig ist.

Ein erster besonderer Vorteil dieses Bauelements besteht darin, daß das Größenverhältnis zwischen den einzelnen Emissionszonen und den zugehörigen Strahlungsauskoppelementen und deren Anordnung zueinander so aufeinander abstimbar ist, daß ein großer Teil der in den Emissionszonen erzeugten elektromagnetischen Strahlung derart auf das Strahlungsauskoppelement gerichtet ist, daß sie aus dem Chip ausgekoppelt wird. Folglich sind auf diese Art und Weise die Bereiche der aktiven Schicht, die in einem für die Strahlungsauskopplung ungünstigen Bereich liegen, weitgehend eliminierbar.

Durch die Erfindung ist es vorteilhafterweise möglich, die

Dicke der Strahlungsauskopplerschicht, die von den Strahlungsauskoppelementen gebildet ist, erheblich zu reduzieren. Je kleiner der Querschnitt der Emissionszonen, umso geringer ist die Mindesthöhe der Strahlungsauskoppelemente, die für eine hinreichende Auskopplung der Strahlung erforderlich ist. Dies bringt neben den kürzeren Prozeßdauern den besonderen Vorteil mit sich, daß Auskoppelemente mit hoher optischer Qualität herstellbar sind.

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung des Bauelements weist jedes Strahlungsauskoppelement die Form eines senkrecht zur Aufwachsebene stehenden Zylinders auf. Das Material des Zylinders besitzt einen Brechungsindex  $n_s$ , der größer als der Brechungsindex  $n_m$  des umgebenden Mediums ist. Bevorzugt ist jede der Emissionszonen innerhalb des zugeordneten Zylinders angeordnet. Der besondere Vorteil dieser Ausführungsform liegt in ihrer technisch einfachen Herstellung. Die Zylinder werden bevorzugt mittels herkömmlicher Halbleiter-Maskentechnik hergestellt.

Jede der Emissionszonen weist bevorzugt eine senkrecht zur Mittelachse des zugehörigen Zylinders liegende im Wesentlichen kreisförmige Querschnittsfläche auf, die denselben oder einen kleineren Durchmesser als der zugehörige Zylinder besitzt. Der Mittelpunkt der kreisförmigen Querschnittsfläche der Emissionszone liegt hierbei vorzugsweise im Wesentlichen auf der Mittelachse des zugehörigen Zylinders.

Kontaktmetallisierungen zur Bestromung der Emissionszonen sind vorteilhafterweise auf den Deckflächen der Zylinder angeordnet und untereinander mittels elektrisch leitender Stege verbunden. Diese Kontaktmetallisierungen sind vorzugsweise ringförmig gestaltet und verlaufen am Rand der Zylinder-Deckfläche, denn dort erfolgt in der Regel aufgrund Totalreflexion keine Lichtauskopplung.

Für die Höhe  $h_z$  der Zylinder gilt vorzugsweise, daß  $h_z \approx 2 \cdot \tan \alpha_G \cdot (R_z + R_E)$ , wobei  $\alpha_G$  den Grenzwinkel der Totalreflexion beim Übergang vom Zylinder zu dem diesen umgebenden Medium,  $R_z$  den Radius des Zylinders und  $R_E$  den Radius der zugehörigen Emissionszone repräsentieren. Die Emissionszonen liegen in besonders bevorzugter Weise im Wesentlichen in halber Höhe  $h_z$  des zugehörigen Zylinders. Bei dieser Ausgestaltung der Erfindung ist vorteilhafterweise die Höhe der Zylinder gerade so gewählt, daß im Wesentlichen die gesamte Strahlung, die in einem Winkel auf die Mantelfläche der Zylinder fällt, der kleiner als der Grenzwinkel der Totalreflexion ist, und nur diese Strahlung auf die Mantelfläche des zugehörigen Zylinders trifft. Die übrige Strahlung trifft auf die Deckfläche des Zylinders und wird dort je nach Auftreffwinkel entweder totalreflektiert oder ausgekoppelt.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung gilt für den Radius  $R_E$  der kreisförmigen Emissionszone die Beziehung  $R_E \leq R_z \cdot n_m/n_s$ , wobei  $n_m$  den Brechungsindex des umgebenden Mediums,  $n_s$  den Brechungsindex des Zylindermaterials und  $R_z$  den Radius des zugehörigen Zylinders darstellen. Dadurch kann vorteilhafterweise der Wirkungsgrad des Bauelements optimiert werden.

Um die Auskopplung der Strahlung weiter zu verbessern ist bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung zumindest bei einigen der Zylinder die Kante der Deckfläche abgeschrägt. Damit wird vorteilhafterweise eine Vergrößerung des Raumwinkels erreicht, aus dem Strahlung aus der Emissionszone mit einem Einfallswinkel auf eine Grenzfläche zwischen dem Strahlungsauskoppelement und dem dieses umgebenden Medium fällt, der kleiner als der Grenzwinkel der Totalreflexion ist.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß jedes Strahlungsauskoppelement im Wesentlichen die Form eines Kugelsegments

aufweist und daß jede der Emissionszonen einen Abstand von einem Scheitelpunkt des jeweils zugehörigen Strahlungsauskoppelements aufweist, der gleich dem oder größer als der Radius  $R_K$  des Kugelsegments ist.

Bei dieser Ausführungsform ist über Variation der Größe der Emissionszonen und des Abstandes der Emissionszonen von dem genannten jeweiligen Scheitelpunkt vorteilhafterweise die Abstrahlcharakteristik des Bauelements einstellbar. Hierzu weist besonders bevorzugt jede der Emissionszonen senkrecht zur Abstrahlrichtung des Bauelements eine im Wesentlichen kreisförmige Querschnittsfläche auf.

Vorteilhafterweise gilt für den Radius  $R_E$  jeder Emissionszone die Beziehung  $R_E \leq R_K \cdot n_M/n_S$ , wobei  $R_K$  den Radius des zugehörigen Kugelsegments,  $n_M$  den Brechungsindex des umgebenden Mediums und  $n_S$  den Brechungsindex des Kugelsegmentmaterials repräsentieren. Der Mittelpunkt der kreisförmigen Querschnittsfläche der Emissionszone liegt vorteilhafterweise im Wesentlichen auf der Mittelachse des zugehörigen Kugelsegments.

Um eine gute Vorwärtsabstrahlcharakteristik des Bauelements zu erhalten, wird der Radius  $R_E$  der Emissionszonen möglichst klein, insbesondere kleiner als  $0,2 \cdot R_K$ , gewählt und ist der Abstand der Emissionszonen von dem genannten jeweiligen Scheitelpunkt in etwa gleich  $[R_K \cdot (1 + n_M/n_S)]$ .

Um eine möglichst gute Lichtauskopplung unter gleichzeitiger Erhöhung des Wirkungsgrades gegenüber herkömmlichen derartigen Bauelementen zu erreichen, ist der Abstand der Emissionszonen vom Scheitelpunkt des jeweils zugehörigen Kugelsegments in etwa gleich dem Radius des zugehörigen Kugelsegments und ist der Radius der Emissionszonen kleiner oder gleich  $R_K \cdot n_M/n_S$ .

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung weist jedes Strahlungsauskoppelement im Wesentlichen die Form einer im Querschnitt rhombischen Säule auf, in der die Emissionszone angeordnet ist. Diese Ausführungsform hat den besonderen Vorteil, daß Strahlung, die zunächst ausgehend von der Emissionszone mit einem Einfallswinkel auf die Grenzfläche zwischen Strahlungsauskoppelement und umgebenden Medium fällt, der größer ist als der Grenzwinkel der Totalreflexion, nach ein- oder mehrfacher Reflexion aus dem Bauelement auskoppelt.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Bauelements ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Fig. 1 bis 6.

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Schnittes durch ein erstes Ausführungsbeispiel,

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Draufsicht von oben auf das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Schnittes durch ein zweites Ausführungsbeispiel,

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Ausschnittes einer Draufsicht von oben auf das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3,

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines Schnittes durch ein drittes Ausführungsbeispiel und

Fig. 6 eine schematische Darstellung einer Draufsicht von oben auf ein viertes Ausführungsbeispiel.

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß den Fig. 1 und 2 handelt es sich um einen LED-Chip 20, bei dem auf einem Substrat 1, das beispielsweise aus n-GaAs besteht, eine Bragg-Reflektor-Schicht 16 aufgebracht ist, auf der sich eine Vielzahl von nebeneinander angeordneten Strahlungsauskoppelementen 5 befindet. Jedes der Strahlungsauskoppelemente 5 weist die Form eines Zylinders 6 auf, dessen Längsmittelachse (AZ) parallel zu einer Hauptabstrahlrichtung 9 des LED-Chips liegt.

Unter Hauptabstrahlrichtung 9 des LED-Chips 20 ist diejenige Richtung zu verstehen, in der ein Großteil der in dem Chip 20 erzeugten elektromagnetischen Strahlung 3 aus diesem austritt.

In jedem Zylinder 6 ist über der Bragg-Reflektor-Schicht 16 eine aktive Schichtenfolge 2 mit einer Emissionszone 4 angeordnet, der in Hauptabstrahlrichtung 9 zunächst eine Stromaperturschicht 14 mit einer Stromdurchlaßöffnung 15 und dieser wiederum eine Kontaktschicht 17 nachgeordnet ist.

Die aktive Schichtenfolge 2 weist vorzugsweise etwa auf der Hälfte der Höhe  $h_Z$  des Zylinders 6 mindestens einen elektrolumineszierenden pn-Übergang 21 auf und besteht beispielsweise aus InGaAlP.

Auf der von der aktiven Schichtenfolge 2 abgewandten Seite des Substrats 1 ist ganzflächig eine Kontaktmetallisierung 19 aufgebracht.

Die Stromaperturschicht 14 dient dazu, den Stromfluß durch die aktive Schichtenfolge 2 und damit durch den elektrolumineszierenden pn-Übergang 21 auf den Bereich der gewünschten Emissionszone 4 einzugrenzen. Sie besteht beispielsweise aus AlAs und ist bis auf die Stromdurchlaßöffnung 15 oxidiert, d. h. elektrisch isolierend, jedoch für die in der Emissionszone 4 erzeugte Strahlung durchlässig.

Eine andere Art der Realisierung der Stromaperturschicht 14 besteht darin, auf die aktive Schichtenfolge 2 eine Schichtenfolge mit einem entgegengesetzt zum pn-Übergang 21 der aktiven Schichtenfolge 2 gepolten pn-Übergang aufzubringen, in den im Bereich der vorgesehenen Stromdurchlaßöffnung 15 ein Fenster geätzt ist. Die Schichtenfolge mit dem entgegengesetzt zum pn-Übergang 21 ist für die im Chip erzeugte Strahlung durchlässig und besteht beispielsweise aus demselben Material wie die aktive Schichtenfolge 2.

Eine Stromaperturschicht 14 kann alternativ oder zusätzlich zwischen der aktiven Schichtenfolge 2 und dem Substrat 1 angeordnet sein.

Die Bragg-Reflektor-Schicht 16 dient dazu, eine von den Emissionszonen 4 zum Substrat 1 hin ausgesandte Strahlung wieder nach vorne zu reflektieren. Derartige Bragg-Reflektor-Schichten sind an sich bekannt und werden daher an diese Stelle nicht weitergehend erläutert.

Die Kontaktschicht 17 besteht beispielsweise wiederum aus In-GaAlP.

Auf der Deckfläche 10 jedes Zylinders 6 befindet sich ein Ringkontakt 11, der im Wesentlichen nur denjenigen Bereich des Zylinders 6 bedeckt, durch den aufgrund Totalreflexion an der Grenzfläche zwischen Zylinder 6 und dem umgebenden Medium nur wenig oder gar keine Strahlung ausgekoppelt werden würde. Die Ringkontakte 11 sind untereinander durch elektrisch leitende Stege 12 verbunden und ein zentraler Teil der Vorderseite des LED-Chips ist mit einem Bondpad 18 bedeckt, der mit den Ringkontakten 11 elektrisch leitend verbunden ist (vgl. Fig. 2).

Zwischen den Zylindern 6 ist auf der Bragg-Reflektor-Schicht 16 vorzugsweise eine reflektierende Oberfläche oder Schicht 22 vorgesehen, die zumindest einen Teil einer von den Zylindern 6 zum Substrat 1 hin ausgesandten Strahlung wieder zur Abstrahlrichtung 9 hin reflektiert.

Die Zylinder 6 werden beispielsweise mittels ganzflächigem epitaktischem Aufbringen der Bragg-Reflektor-Schicht 16, der aktiven Schichtenfolge 2, der Stromaperturschicht 14 und der Kontaktschicht 17 auf das Substrat 1 und nachfolgender Fotolithographie-Technik und Ätzen hergestellt.

Eine andere Methode zur Erzeugung der Zylinder 6 besteht darin, daß zunächst auf die Bragg-Reflektor-Schicht 16 eine Maskenschicht aufgebracht wird, in die nachfolgend mittels Fotolithographie-Technik und Ätzen kreisrunde Fen-

ster geätzt werden. In diesen Fenstern werden nachfolgend die aktive Schichtenfolge 2, die Stromaperturschicht 14 und die Kontaktschicht 17 epitaktisch abgeschieden. Die Maskenschicht ist hierbei so gewählt, daß auf dieser im Wesentlichen keine epitaktische Abscheidung des Materials der aktiven Schichtenfolge 2, der Stromaperturschicht 14 und der Kontaktschicht 17 erfolgt. Die Maskenschicht wird nach dem Abscheiden der Zylinder 6 beispielsweise mittels Ätzen entfernt.

Die Stromdurchlassöffnung 15 wird im Falle einer dafür verwendeten oxidierbaren Schicht dadurch erzeugt, daß diese oxidierbare Schicht nach dem Herstellen der Zylinder 6 mittels Tempern in einer sauerstoffhaltigen oder feuchten Atmosphäre von außen nach innen bis auf die gewünschte Stromdurchlassöffnung 15 oxidiert und damit elektrisch isolierend gemacht wird.

Im Falle der Verwendung eines entgegengesetzt zum pn-Übergang 21 der aktiven Schichtenfolge 2 gepolten pn-Übergangs für die Stromaperturschicht 14 wird zum Herstellen der Stromdurchlassöffnung 15 nach dem Aufwachsen der Schichtenfolge für den entgegengesetzt gepolten pn-Übergang in diese vor dem Aufbringen der Kontaktschicht 17 mittels Fotolithographie-Technik und Ätzen ein Fenster geätzt, das die Stromdurchlassöffnung 15 definiert.

Bei einer nochmals anderen Ausführungsform, die keine Stromaperturschicht 14 benötigt, wird der elektrolumineszierende pn-Übergang nicht ganzflächig über dem Substrat erzeugt, sondern nur lokal in den Bereichen der vorgesehenen Emissionszonen 4, beispielsweise mittels Ionenimplantation in der aktiven Schichtenfolge 2 ausgebildet. Dazu wird nach dem Aufwachsen der aktiven Schichtenfolge 2 auf diese eine Maskenschicht aufgebracht, die Fenster zur Ionenimplantation aufweist.

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß den Fig. 3 und 4 handelt es sich wieder um einen LED-Chip 20, bei dem auf einem Substrat 1, das beispielsweise aus n-GaAs besteht, eine Bragg-Reflektor-Schicht 16 aufgebracht ist. Auf dieser Bragg-Reflektor-Schicht 16 befindet sich eine aktive Schichtenfolge 2 mit mindestens einem elektrolumineszierenden pn-Übergang 21, in der eine Mehrzahl von Emissionszonen 4 angeordnet sind.

Der aktiven Schichtenfolge 2 ist in Hauptabstrahlrichtung 9 des Bauelements eine Stromaperturschicht 14 mit einer Mehrzahl von Stromdurchlassöffnungen 15 nachgeordnet. Die Stromdurchlassöffnungen 15 dienen auch hier dazu, den Stromfluß durch die aktive Schichtenfolge 2 und damit durch den elektrolumineszierenden pn-Übergang 21 auf den Bereich der gewünschten Emissionszonen 4 einzugrenzen.

Eine derartige Stromaperturschicht 14 kann alternativ oder zusätzlich zwischen der aktiven Schichtenfolge 2 und dem Substrat 1 angeordnet sein.

Weiterhin ist jeder Emissionszone 4 in Hauptabstrahlrichtung 9 des Bauelements ein Strahlungsauskoppelement 5 nachgeordnet, das die Form eines Kugelsegments 7, hier einer Halbkugel, aufweist. Zwischen den Kugelsegmenten 7 ist auf der Stromaperturschicht 14 ein ohmscher Kontakt 23 aufgebracht, der lediglich die Ränder der Kugelsegmente 7 bedeckt.

In einem Teilbereich der Chip-Vorderseite, die keine Kugelsegmente 7 aufweist, ist auf der Stromaperturschicht 14 ein Bondpad 18 ausgebildet, der mit dem ohmschen Kontakt 23 elektrisch leitend verbunden ist (vgl. Fig. 4).

Jede der Emissionszonen 4 weist bevorzugt eine senkrecht zu einer Abstrahlrichtung des Bauelements liegende Querschnittsfläche auf, die im Wesentlichen kreisförmig ist und einen Radius  $R_E$  besitzt, der gleich dem oder kleiner als der Radius  $R_K$  des zugehörigen Kugelsegments 7 ist.

Für den Radius  $R_E$  jeder Emissionszone 4 gilt  $R_E \leq$

$R_K \cdot n_M/n_S$ , wobei  $R_K$  den Radius des zugehörigen Kugelsegments 7,  $n_M$  den Brechungsindex des umgebenden Mediums M, z. B. Kunststoff, und  $n_S$  den Brechungsindex des Kugelsegmentmaterials darstellen. Der Mittelpunkt der kreisförmigen Querschnittsfläche der Emissionszone 4 liegt im Wesentlichen auf der Mittelachse AK des zugehörigen Kugelsegments 7.

Für den Abstand d der Emissionszonen 4 vom Scheitelpunkt S des jeweils zugeordneten Kugelsegments 7 gilt vorzugsweise  $R_K \leq d \leq R_K \cdot (1 + n_M/n_S)$ .

Die Stromaperturschicht 14 besteht beispielsweise aus oxidierbarem Halbleitermaterial. Dieses ist bis auf Stromdurchlassöffnungen 15, die die Größe der Emissionszonen 4 in der aktiven Schichtenfolge 2 definieren, oxidiert und folglich elektrisch isolierend aber für die von den Emissionszonen 4 ausgesandte Strahlung durchlässig.

Eine andere Art der Realisierung der Stromaperturschicht 14 besteht darin, auf die aktive Schichtenfolge 2 eine Schichtenfolge mit einem entgegengesetzt zum pn-Übergang 21 der aktiven Schichtenfolge 2 gepolten pn-Übergang aufzubringen, in den im Bereich der vorgesehenen Stromdurchlassöffnungen 15 Fenster ausgebildet sind.

Die Kugelsegmente 7 bestehen vorzugsweise aus einem Halbleitermaterial, das elektrisch leitend und für die von dem Bauelement ausgesandte elektromagnetische Strahlung 3 durchlässig ist. Im Falle einer aktiven Schichtenfolge 2 aus InGaAlP eignen sich vorzugsweise Kugelsegmente 7 aus leitfähig dotiertem InGaAlP.

Bei einer ersten Variante zur Herstellung eines Bauelements gemäß dem Ausführungsbeispiel von Fig. 3 wird nach dem Aufbringen der aktiven Schichtenfolge 2, die z. B. eine ndotierte und eine p-dotierte InGaAlP-Schicht aufweist, eine oxidierbare leitend dotierte Halbleiterschicht aufgebracht, die beispielsweise aus AlAs besteht. Nachfolgend wird eine elektrisch leitend dotierte strahlungsdurchlässige Halbleiterschicht, im vorliegenden Beispielfall eine p-dotierte In-GaAlP-Halbleiterschicht, aufgebracht. In dieser werden dann mittels Ätzen die Kugelsegmente 7 ausgebildet, derart, daß zwischen den Kugelsegmenten 7 die oxidierbare Halbleiterschicht freigelegt ist. In einem Oxidationsprozeß in sauerstoffhaltiger Atmosphäre wird nachfolgend die oxidierbare Schicht von außen nach innen bis auf die vorgesehenen Stromdurchlassöffnungen 15 aufoxidiert. Nachfolgend wird der ohmsche Kontakt 23, z. B. in Form einer bekannten Kontaktmetallisierung, aufgebracht, der im Wesentlichen nur die Ränder der Kugelsegmente 7 bedeckt.

Gemäß einer zweiten Variante zur Herstellung eines Bauelements gemäß dem Ausführungsbeispiel von Fig. 3 wird nach dem Aufbringen der aktiven Schichtenfolge 2, die z. B. eine ndotierte 26 und eine p-dotierte InGaAlP-Schicht 27 aufweist, auf dieser eine Schichtenfolge mit einem entgegengesetzt zum pn-Übergang 21 der aktiven Schichtenfolge 2 gepolten pn-Übergang aufgebracht. Dazu wird im genannten Beispielfall vorzugsweise auf der p-InGaAlP-Schicht eine p- und dann eine n-dotierte InGaAlP-Schicht durch epitaktisches Wachstum aufgebracht, vorzugsweise ohne die Abscheidung zu unterbrechen. Anschließend wird nach vorheriger Anwendung einer Fotolithographie-Technik die ndotierte InGaAlP-Schicht der Schichtenfolge mit dem entgegengesetzt gepolten pn-Übergang im Bereich der gewünschten Stromdurchlassöffnung durch Ätzen entfernt. Danach wird auf der freigelegten p-InGaAlP-Schicht und auf der stehengebliebenen n-InGaAlP-Schicht eine p-InGaAlP-Schicht mit einer Dicke D aufgewachsen. In diese wird nachfolgend eine Mehrzahl von Halbkugeln 7 geätzt, derart, daß zwischen den Halbkugeln 7 die n-InGaAlP-Schicht freigelegt ist. Anschließend wird der ohmsche p-Kontakt 23 aufgebracht, der im Wesentlichen nur die Kugel-

ränder bedeckt. Der Bondpad 18 wird in gleicher Weise wie bei der oben beschriebenen ersten Variante aufgebracht. Der ohmsche Kontakt 23 und der Bondpad 18 können unmittelbar auf die n-dotierte InGaAlP-Sperrschicht aufgebracht werden. Sollte es erforderlich sein, so kann zum Schutz gegen Durchkontaktieren der Bondpad mit einem isolierenden Oxid, einem isolierenden Nitrid oder mit einer protonenimplantierten, isolierenden Schicht unterlegt sein.

Die Bragg-Reflektor-Schicht 16 ist optional und kann sowohl bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 als auch bei denen gemäß den Fig. 3 und 5 weggelassen oder bei einem Substrat 1, das für die ausgesandte elektromagnetische Strahlung durchlässig ist, durch eine reflektierende Rückseite des Substrats 1 ersetzt werden.

Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5 unterscheidet sich von dem der Fig. 3 im Wesentlichen dadurch, daß an Stelle der Halbkugeln 7 als Strahlungsauskoppelemente 5 Kegelstümpfe oder Polyeder 24 vorgesehen sind.

Zur Herstellung der Kegelstümpfe oder Polyeder 24 wird bei einem Verfahren der oben beschriebenen zweiten Variante nach dem Herstellen der Stromaperturschicht 14 auf deren n-InGaAlP-Schicht eine Oxidmaske 25 aufgebracht, die so strukturiert und ausgerichtet ist, daß sie um die Stromdurchlaßöffnung 15 herum eine Fläche ausspart, die im Wesentlichen der Größe der Grundfläche der vorgesehenen Kegelstümpfe oder Polyeder 24 entspricht. Durch geeignete Abscheidebedingungen wird nachfolgend auf dem freigelegten p-InGaAlP-Fleck der Stromdurchlaßöffnung 15 und auf der nicht von der Oxidmaske 25 bedeckten Fläche der n-InGaAlP-Schicht der Stromaperturschicht 14 eine p-InGaAlP-Schicht selektiv epitaktisch abgeschieden, was heißt, daß auf der Oxidmaske keine epitaktische Abscheidung erfolgt. Die Wachstumsbedingungen werden dabei so gewählt, daß die Kegelstümpfe oder Polyeder 24 entstehen. Nachfolgend wird zwischen den Kegelstümpfen oder Polyedern 24 auf die Oxidmaske 25 ein ohmscher p-Kontakt 23 aufgebracht, der im Wesentlichen nur die Ränder der Kegelstümpfe oder Polyeder 24 bedeckt.

Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6 unterscheidet sich von dem der Fig. 1 im Wesentlichen dadurch, daß die Strahlungsauskoppelemente 5 hier im Wesentlichen jeweils die Form einer im Querschnitt rhombischen Säule aufweisen. Die Vorteile dieser Ausgestaltung bestehen, wie bereits im allgemeinen Teil der Beschreibung angeführt, darin, daß Strahlung, die zunächst ausgehend von der Emissionszone 4 mit einem Einfallswinkel auf die Grenzfläche zwischen Strahlungsauskoppelement 5 und umgebenden Medium M fällt, der größer ist als der Grenzwinkel der Totalreflexion, nach ein- oder mehrfacher Totalreflexion letztendlich doch aus dem Bauelement auskoppelt.

#### Patentansprüche

1. Monolithisches elektrolumineszierendes Bauelement, insbesondere LED-Chip, bei dem
  - auf einem Substrat (1) eine aktive Schichtenfolge (2) angeordnet ist, die geeignet ist, bei Stromfluß durch das Bauelement elektromagnetische Strahlung (3) auszusenden,
  - der aktiven Schichtenfolge (2) in einer Abstrahlrichtung (9) des Bauelements eine Strahlungsauskoppelement (5) nachgeordnet ist, durch die zumindest ein Teil der elektromagnetischen Strahlung aus dem Bauelement ausgekoppelbar ist, und bei dem
  - an die Strahlungsauskoppelement (5) ein Medium angrenzt, dessen Brechungsindex ( $n_M$ ) kleiner ist als der Brechungsindex ( $n_S$ ) des Materials

der Strahlungsauskoppelement (5),

dadurch gekennzeichnet, daß

die aktive Schichtenfolge (2) eine Mehrzahl von in Bezug auf die Abstrahlrichtung (9) nebeneinander angeordnete Emissionszonen (4) aufweist und daß die Strahlungsauskoppelement (5) für jede dieser Emissionszonen (4) ein dieser zugeordnetes Strahlungsauskoppelement (5) aufweist, durch das eine in der zugehörigen Emissionszone (4) erzeugte elektromagnetische Strahlung aus dem Bauelement ausgekoppelt wird.

2. Bauelement gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß die Strahlungsauskoppelemente (5) jeweils die Form eines Zylinders (6) aufweisen, dessen Längsmittelachse (AZ) im Wesentlichen parallel zur Abstrahlrichtung (9) liegt, und

daß die Emissionszonen (4) im jeweils zugeordneten Zylinder (6) oder in Abstrahlrichtung (9) des Bauelements gesehen vor dem jeweils zugeordneten Zylinder (6) angeordnet ist.

3. Bauelement gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Emissionszonen (4) jeweils eine senkrecht zur Mittelachse (AZ) des zugehörigen Zylinders (6) liegende Querschnittsfläche aufweisen, die im Wesentlichen kreisförmig ist und denselben oder einen kleineren Durchmesser als der zugehörige Zylinder (6) aufweist.

4. Bauelement gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Mittelpunkt der kreisförmigen Querschnittsfläche jeder Emissionszone (4) im Wesentlichen auf der Mittelachse (AZ) des zugehörigen Zylinders (6) liegt.

5. Bauelement gemäß Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe und Form der Emissionszonen (4) jeweils mittels einer Stromaperturschicht (14) mit einer Stromdurchlaßöffnung (15), die kleiner ist als die Querschnittsfläche des zugehörigen Zylinders (5), definiert ist.

6. Bauelement gemäß einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß für die Höhe  $h_Z$  jedes Zylinders (6) gilt:

$$h_Z \geq 2 \cdot \tan \alpha_G \cdot (R_Z + R_E)$$

mit:

$\alpha_G$ : Grenzwinkel der Totalreflexion beim Übergang vom Zylinder (6) zum umgebenden Medium (M)

$R_Z$ : Radius des Zylinders (6)

$R_E$ : Radius der zugehörigen Emissionszone (4)

und daß die Emissionszone (4) im Wesentlichen in halber Höhe ( $h_Z$ ) des zugehörigen Zylinders (6) angeordnet ist.

7. Bauelement gemäß einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß für jede Emissionszone (4) gilt:

$$R_E \leq R_Z \cdot n_M / n_S$$

wobei:

$R_E$ : Radius der Emissionszone (4)

$n_M$ : Brechungsindex des umgebenden Mediums (M)

$n_S$ : Brechungsindex des Zylindermaterials

$R_Z$ : Radius des zugehörigen Zylinders (6).

8. Bauelement gemäß einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß

auf einer Deckfläche (10) eines jeden Zylinders (6) eine ringförmige Kontaktmetallisierung (11) zur Be-

stromung der zugehörigen Emissionszonen (4) vorgesehen ist, die am Rand der Deckfläche verläuft, und daß alle Kontaktmetallisierungen (11) untereinander mittels elektrisch leitender Stege (12) verbunden sind. 9. Bauelement gemäß einem der Ansprüche 2 bis 8, 5 dadurch gekennzeichnet, daß zumindest bei einigen der Zylinder (6) die Kante der Deckfläche (10) abgeschrägt ist.

10. Bauelement gemäß Anspruch 1, 10 dadurch gekennzeichnet, daß jedes Strahlungsauskoppelement (5) im Wesentlichen die Form eines Kugelsegments (7) aufweist und daß jede der Emissionszonen (4) einen Abstand (d) von einem Scheitelpunkt (S) des jeweils zugehörigen Strahlungsauskoppelements (5) aufweist, der gleich dem 15 oder größer als der Radius ( $R_K$ ) des Kugelsegments (7) ist.

11. Bauelement gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Emissionszonen (4) eine senkrecht zu einer Abstrahlrichtung des Bauelements liegende Querschnittsfläche aufweist, die im Wesentlichen kreisförmig ist und einen Radius ( $R_E$ ) aufweist, der gleich dem oder kleiner als der Radius ( $R_K$ ) des zugehörigen Kugelsegments (7) ist.

12. Bauelement gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß für den Radius  $R_E$  jeder Emissionszone (4) gilt:

$$R_E \leq R_K \cdot n_M/n_S$$

wobei:

$R_K$ : Radius des zugehörigen Kugelsegments (7)  
 $n_M$ : Brechungsindex des umgebenden Mediums (M)  
 $n_S$ : Brechungsindex des Kugelsegmentmaterials und daß der Mittelpunkt (ME) der kreisförmigen Querschnittsfläche der Emissionszone (4) im Wesentlichen auf der Mittelachse (AK) des zugehörigen Kugelsegments (7) liegt.

13. Bauelement gemäß einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß für jede Emissionszone (4) gilt:

$$R_K \leq d \leq R_K \cdot (1 + n_M/n_S)$$

mit:

d: Abstand der Emissionszone (4) vom Scheitelpunkt (S) des Kugelsegments (7).

14. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 oder 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Substrat (1) ganzflächig die aktive Schichtenfolge (2) aufgebracht ist, die eine elektrolumineszierende Schicht aufweist, daß über der aktiven Schichtenfolge (2) eine Stromaperturschicht (14) aus oxidierbarem Halbleitermaterial angeordnet ist, die bis auf Stromdurchlassöffnungen (15), die die Größe der Emissionszonen (4) in der aktiven Schichtenfolge (2) definieren, oxidiert und folglich elektrisch isolierend aber für die von den Emissionszonen (4) ausgesandte Strahlung durchlässig ist, und daß über dieser Stromaperturschicht (14) eine weitere Halbleiterschicht angeordnet ist, in der die Strahlungsauskoppelemente (5) ausgebildet sind.

15. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 oder 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Substrat (1) ganzflächig die aktive Schichtenfolge (2) aufgebracht ist, die eine elektrolumineszierende Schicht aufweist, daß über der aktiven Schichtenfolge (2) eine Stromaperturschicht (14) angeordnet ist, die bis auf Stromdurchlassöffnungen (15), die die Größe der

Emissionszonen (4) in der aktiven Schichtenfolge (2) definieren, einen entgegengesetzt zur Durchlaßrichtung des Bauelements gepolten pn-Übergang aufweist, und daß über dieser Stromaperturschicht (14) eine weitere Halbleiterschicht angeordnet ist, in der die Strahlungsauskoppelemente (5) ausgebildet sind.

16. Bauelement gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Strahlungsauskoppelement (5) im Wesentlichen die Form einer im Querschnitt rhombischen Säule (8) aufweist.

17. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsauskoppelemente (5) im Wesentlichen aus Halbleitermaterial bestehen, das für die von dem Bauelement ausgesandte Strahlung durchlässig ist, und mittels herkömmlicher naß- oder trockenchemischer Ätzverfahren monolithisch erzeugt sind.

18. Bauelement nach einem der Ansprüche 2 bis 9 oder 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß eine zwischen den Strahlungsauskoppelementen (5) vorhandene Oberfläche des Bauelements reflektierend ausgebildet ist.

19. Verfahren zum Herstellen eines Bauelements gemäß einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Zylinder (6) mittels ganzflächigem epitaktischem Aufbringen der aktiven Schichtenfolge (2), einer Stromaperturschicht (14) und einer Kontaktschicht (17) auf das Substrat (1) und nachfolgender Fotolithographie-Technik und Ätzen hergestellt werden.

20. Verfahren zum Herstellen eines Bauelements gemäß einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß

zunächst auf das Substrat (1) eine Maskenschicht aufgebracht wird, in die nachfolgend mittels Fotolithographie-Technik und Ätzen kreisrunde Fenster geätzt werden,

daß in diesen Fenstern nachfolgend jeweils die aktive Schichtenfolge (2), eine Stromaperturschicht (14) und eine Kontaktschicht (17) epitaktisch abgeschieden werden, wobei die Maskenschicht hierbei so gewählt wird, daß auf dieser im Wesentlichen keine epitaktische Abscheidung des Materials der aktiven Schichtenfolge (2), der Stromaperturschicht (14) und der Kontaktschicht (17) erfolgt.

21. Verfahren zum Herstellen eines Bauelements gemäß einem Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß als Stromaperturschicht (14) eine oxidierbare Schicht verwendet wird, die nach dem Herstellen der Zylinder (6) mittels Tempern in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre von außen nach innen bis auf die gewünschten Stromdurchlassöffnungen (15) oxidiert und damit elektrisch isolierend gemacht wird.

22. Verfahren zum Herstellen eines Bauelements gemäß einem Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß auf die aktive Schichtenfolge (2) mit dem elektrolumineszierenden pn-Übergang (21) ein entgegengesetzt zum pn-Übergang (21) der aktiven Schichtenfolge (2) gepolter pn-Übergang aufgebracht wird, in den zum Herstellen der Stromdurchlassöffnung (15) vor dem Aufbringen der Kontaktschicht (17) mittels Fotolithographie-Technik und Ätzen ein Fenster geätzt wird, das die Stromdurchlassöffnung (15) definiert.

23. Verfahren zum Herstellen eines Bauelements gemäß einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Zylinder (6) mittels ganzflächigem epitaktischem Aufbringen der aktiven Schichtenfolge (2), Herstellen der Emissionszonen (4) in der aktiven Schichtenfolge (2) mittels Ionenimplantation, Aufbrin-

gen einer Kontaktschicht (17) auf das Substrat (1) und nachfolgender Fotolithographie- und Ätztechnik hergestellt werden.

24. Verfahren zum Herstellen eines Bauelements gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Aufbringen der aktiven Schichtenfolge (2) auf das Substrat (1) eine oxidierbare leitend dotierte Halbleiterschicht aufgebracht wird, daß auf diese eine elektrisch leitend dotierte strahlungsdurchlässige Halbleiterschicht aufgebracht wird, daß in dieser mittels Ätzen Kugelsegmente (7) ausgebildet werden, derart, daß zwischen den Kugelsegmenten (7) die oxidierbare Halbleiterschicht freigelegt ist, und daß in einem Oxidationsprozeß in sauerstoffhaltiger Atmosphäre nachfolgend die oxidierbare Schicht von außen nach innen bis auf die Stromdurchlassöffnungen (15) aufoxidiert wird.

25. Verfahren zum Herstellen eines Bauelements gemäß Anspruch 1 und Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß als Strahlungsauskoppelemente (5) Kegelstümpfe oder Polyeder (24) vorgesehen sind, zu deren Herstellung nach dem Herstellen der Stromaperturschicht (14) auf dieser eine Oxidmaske (25) aufgebracht wird, die so strukturiert und ausgerichtet wird, daß sie um die Stromdurchlaßöffnungen (15) herum eine Flächen aussparen, die im Wesentlichen der Größe der Grundfläche der vorgesehenen Kegelstümpfe oder Polyeder (24) entsprechen, daß nachfolgend auf der nicht von der Oxidmaske (25) bedeckten Fläche der Stromaperturschicht (14) unmittelbar die Kegelstümpfe oder Polyeder (24) selektiv abgeschieden werden.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

35

40

45

50

55

60

65



161

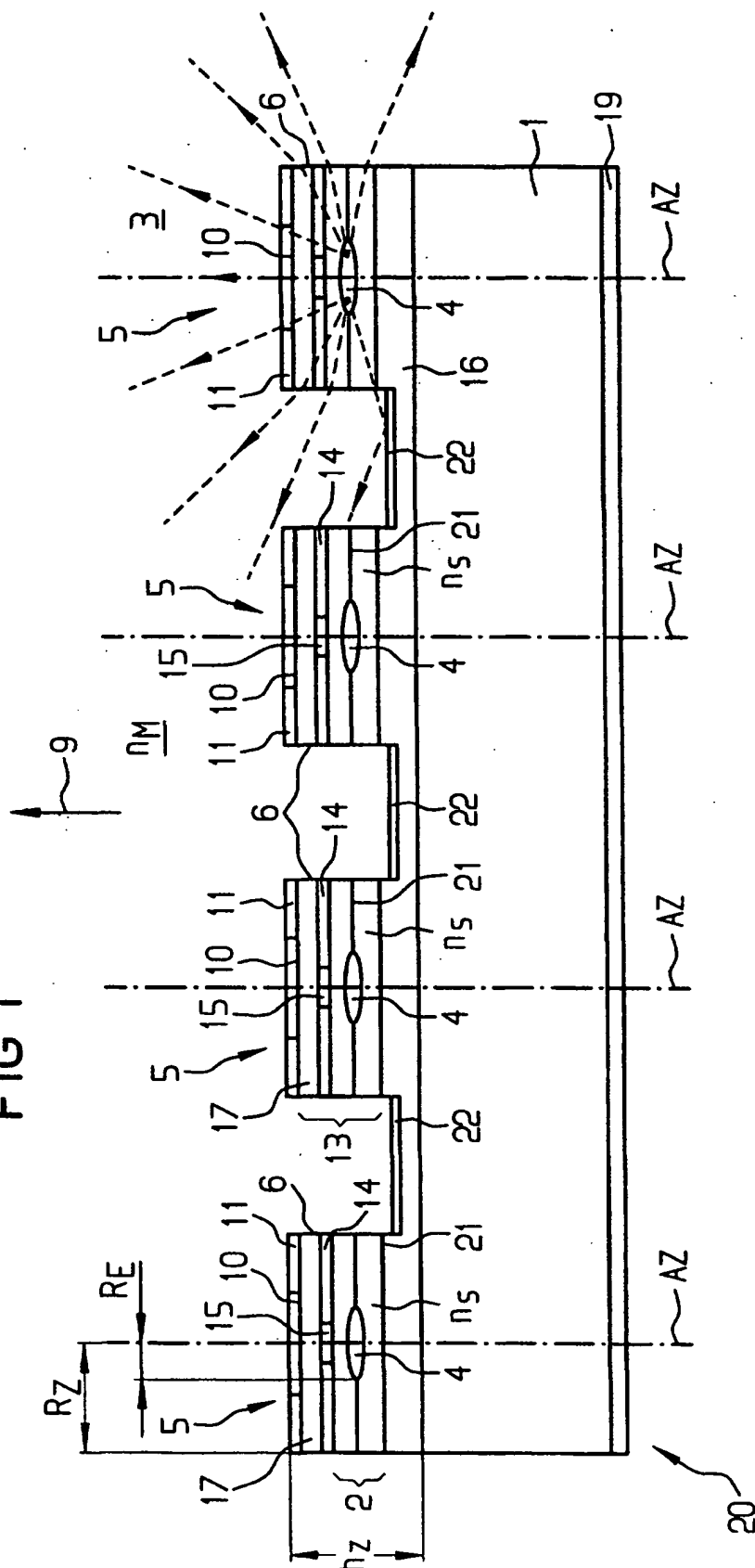


FIG 2

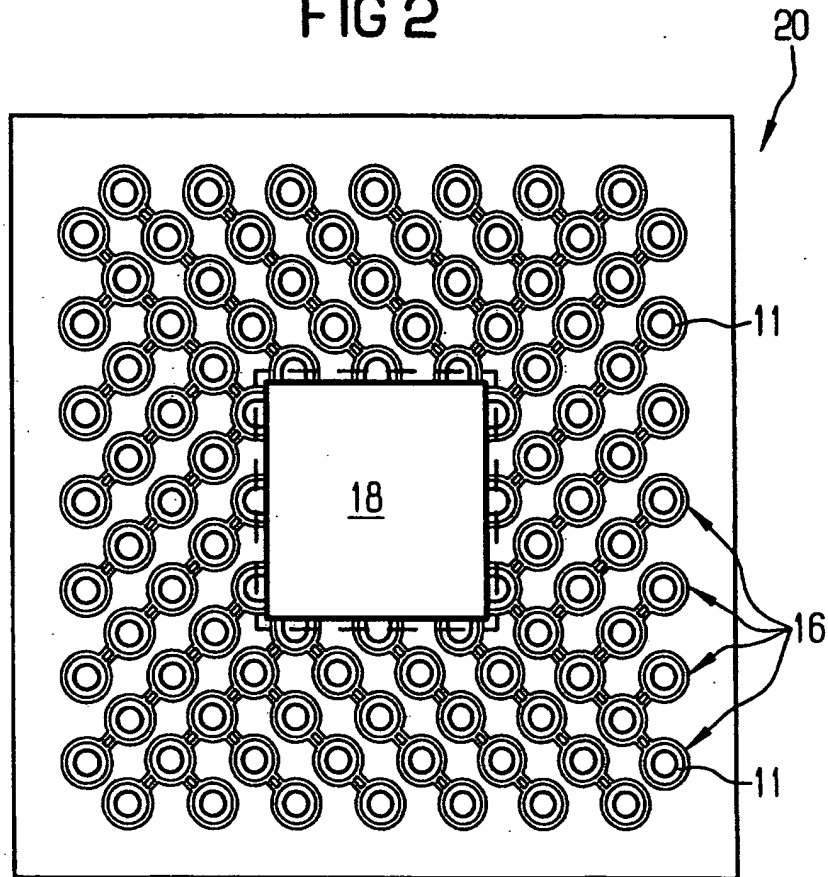


FIG 4

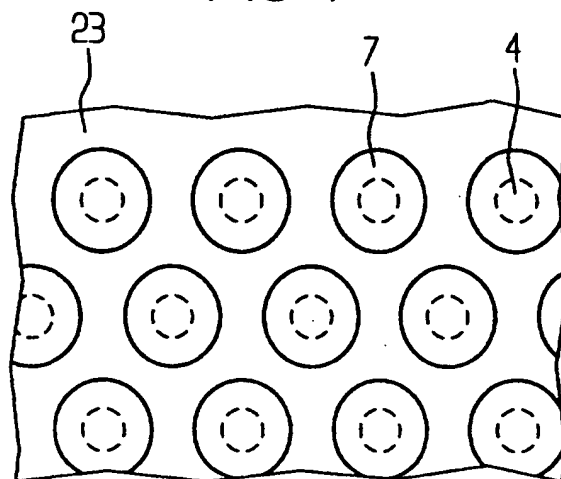
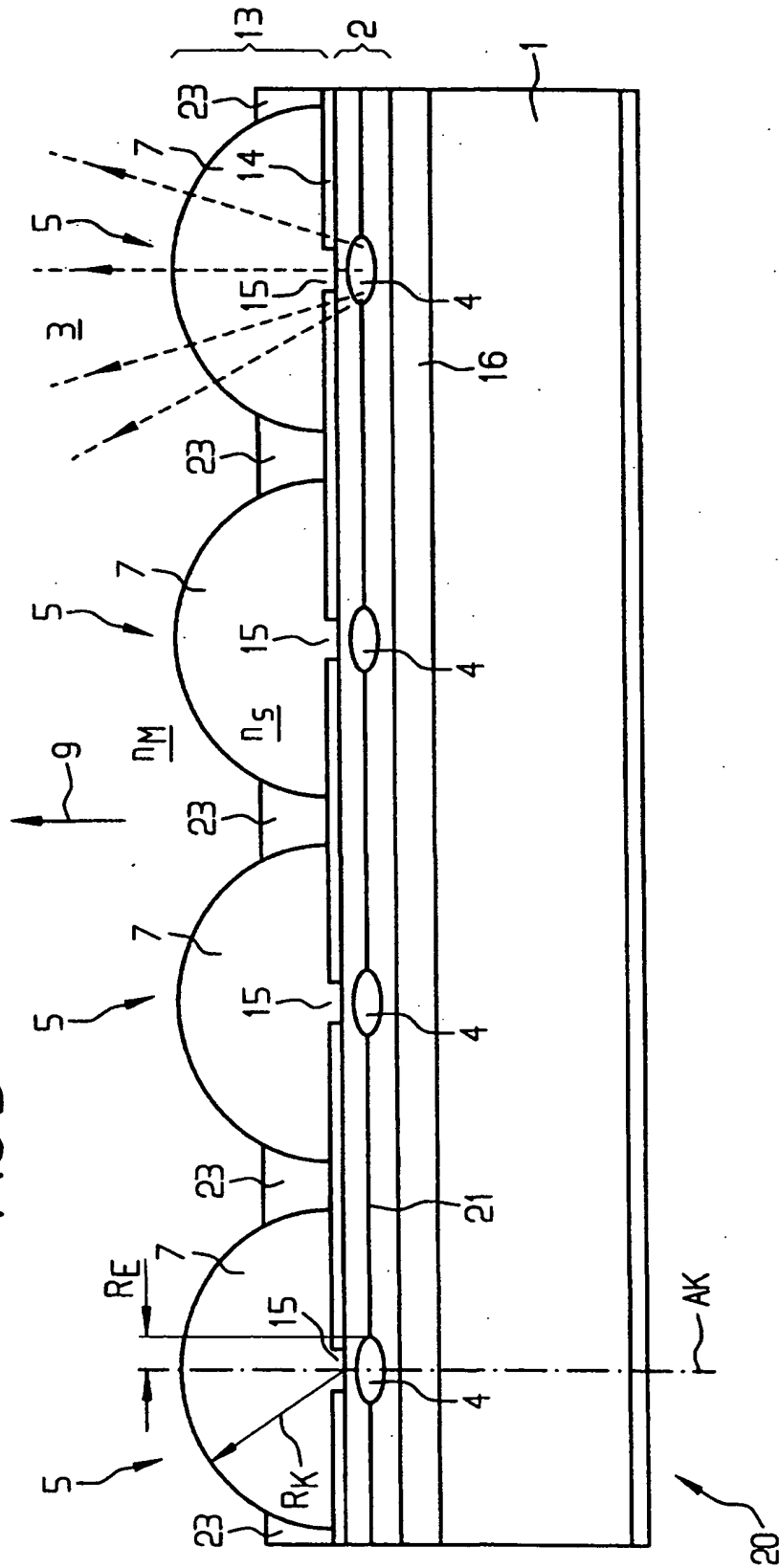


FIG 3



561

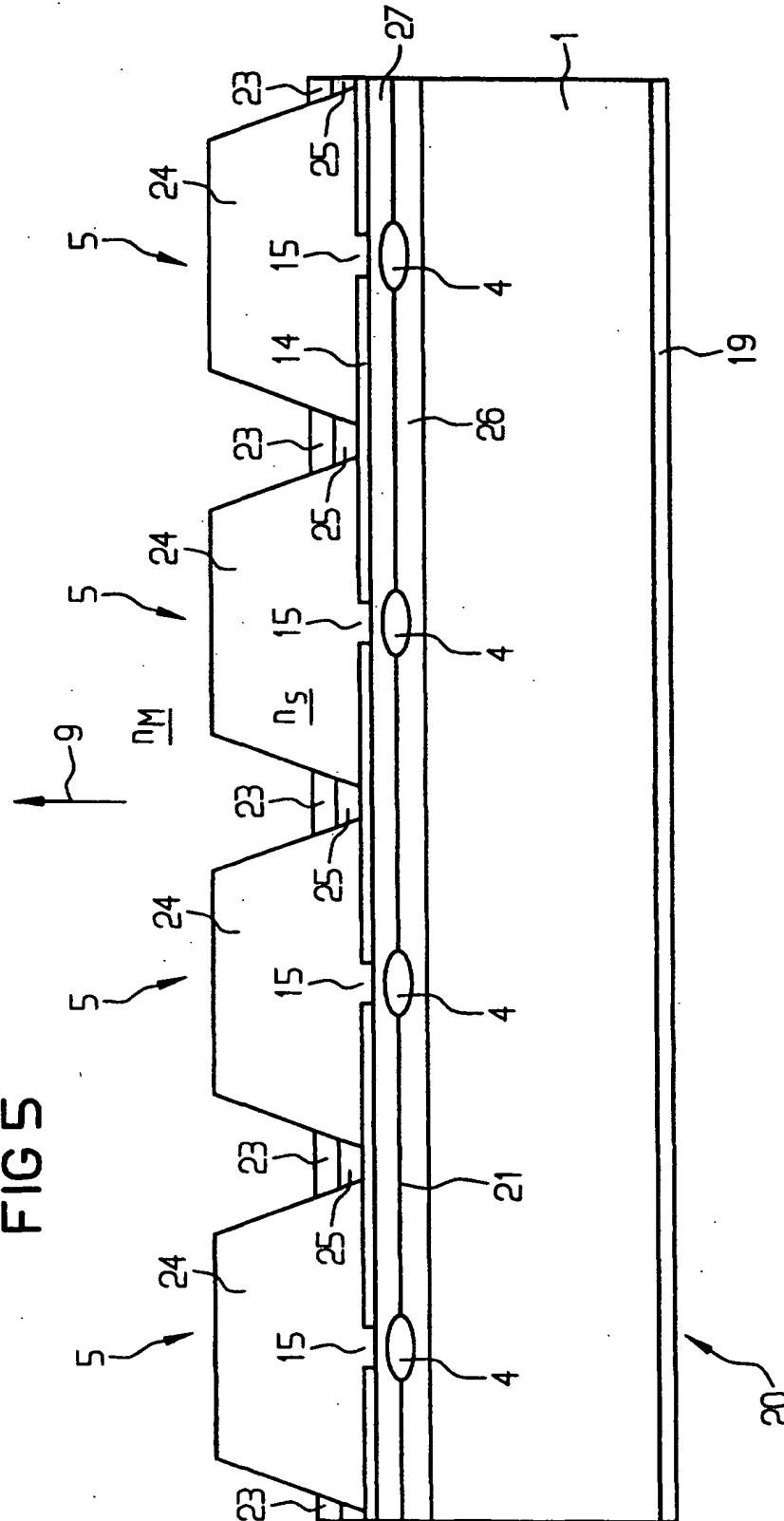


FIG 6

